

Herman Kenkkilä

Runkorakenteiden vertailu lypsykarjanavetassa

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Herman Kenkilä

Työn nimi: Runkorakenteiden vertailu lypsykarjanavetassa

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 34

Liitteiden lukumäärä: 1

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan lypsynavettojen eri runkomateriaalivaihtoehtoja ja runkojärjestelmiä. Tavoitteena on selvittää, mitkä rakenteet ja ratkaisut ovat maatarakentamiseen soveltuvimpia. Teoriaosuudessa kerrotaan materiaalien tuotannosta ja ympäristöystävällisyydestä sekä elinkaaresta. Teoriaosuudessa kerrotaan myös materiaalien palonkestosta sekä rakenteiden suojaamisesta tuli-palotilanteessa.

Tutkimusosiossa on tehty kysely, jolla kartoitettiin lypsykarjatilallisten mielipiteitä ja kokemuksia erilaisista rakennuksista. Opinnäytetyössä on hyödynnetty sekä eri tietolähteistä löytynyttä teoretietoa, että kirjoittajan omaa kokemusta ja tietämystä lypsykarjanavetan rakentamisesta ja toiminnasta.

Avainsanat: navetat, rakenteet, rakentaminen, puurakenteet, betonirakenteet, teräsrakenteet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction site management

Specialisation: Building construction

Author: Herman Kenkkilä

Title of thesis: Frame material comparison in dairy buildings

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2016

Number of pages: 34

Number of appendices: 1

The thesis is about comparing different building materials and frame solutions for dairy buildings. The goal for the thesis was to study which frames and solutions are the most suitable for farm constructions. The theory part includes material production, ecology and life cycle of materials. Furthermore, fire resistance of materials and protecting structures from fire are also studied in the theory part.

The research part was carried out with survey for farmers. The purpose for the survey was to study farmers opinions and experiences of different buildings. In the thesis, information was gained through using different theory sources and writer's own experience and knowledge of dairy buildings operations and constructions.

Keywords: structures, building, steel structures, concrete structures, wood structures, dairy buildings

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO.....	8
2 PÄÄRUNKOMATERIAALIEN OMINAISUUKSIA	9
2.1 Puun käyttö rakennusmateriaalina.....	9
2.1.1 Ympäristövaikutukset.....	9
2.1.2 Paloturvallisuus.....	10
2.1.3 Elinkaari ja kestävyys.....	11
2.2 Teräs rakennusmateriaalina.....	11
2.2.1 Teräsrakenteen etuja ja haittoja.....	12
2.2.2 Korroosio.....	12
2.2.3 Paloturvallisuus.....	13
2.2.4 Teräksen ekologisuus	14
2.3 Betoni rakennusmateriaalina.....	15
2.3.1 Betonin lujuusominaisuudet.....	16
2.3.2 Betonin paloturvallisuus	16
2.3.3 Betonin ekologisuus.....	17
3 PUURUNGOT	19
3.1 Pilarirungot.....	19
3.1.1 Palkkikannattajat.....	20
3.1.2 Ristikkokannattajat.....	20
3.1.3 Vetotankokannattajat	21
3.2 Kaarirungot.....	22
3.3 Kehärungot.....	23
3.4 Katto- ja seinärakenteet	25
4 TERÄSRUNGOT.....	26
4.1 Runkojärjestelmät	27

4.2 Teräsrungon jäykistys	27
5 BETONIRUNGOT	29
5.1 Runkojärjestelmät	29
5.2 Rungon jäykistys	32
6 KÄYTTÖKOKEMUKSIA	33
6.1 Tuottajien vastauksista.....	33
6.2 Suunnittelijan vastauksista.....	34
7 PÄÄTELMIÄ	35
LÄHTEET.....	36
LIITTEET	37

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Käyränurkkainen kolminivelkehä pystytysvaiheessa 24

Kuvio 1 Korroosion heikentämä kannatin.....	13
Kuvio 2. Erilaisia teräksen palosuojausmenetelmiä (Väisänen 2007).....	14
Kuvio 3. Esimerkkejä ristikkokannattajista	20
Kuvio 4. Pääkannattajana vetotangollinen kaari, poikkileikkaus hallin keskeltä ja päädyistä.....	22
Kuvio 5. Kaarirunko, leikkaus hallin keskeltä ja päädyistä.....	23
Kuvio 6 Teräspilarityyppejä (RT 82-10765, 2001).....	27
Kuvio 7 Yläpohjan eri rakennetyyppejä (RT 82-10821 2004)	31
Kuvio 8 Yksikerroksinen betonirunkoinen halli, pääkkannattajat HI- palkkeja	31
 Taulukko 1. Eri rakennusmateriaalien ympäristövertailu.....	10

Käytetyt termit ja lyhenteet

K-jako Käytetään esimerkiksi pilarijaon kertomiseen. Kertoo mitan pilarin keskikohdasta seuraavan pilarin keskikohtaan.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on eri runkomateriaalien ja runkoratkaisujen vertailu lypsykarjanavetassa. Teoriaosuudessa käydään läpi materiaalien ominaisuuksia sekä niiden valmistusprosesseja ja ympäristövaikutuksia. Teoriaosuudessa on myös tietoa materiaalien palo-ominaisuuksista. Koska jokaisella materiaalilla voidaan toteuttaa rakennuksen runko monella eri tavalla on työssä käyty läpi yleisimpiä runkojärjestelmiä.

Tutkimusosiossa on tehty kysely lypsykarjatilallisille sekä rakennesuunnittelijalle, joka suunnittelee lypsykarjanavettojen rakenteita. Tietoa löytyy esimerkiksi rungon valinnan perusteista ja eduista mitä kullakin rungolla saavutetaan.

2 PÄÄRUNKOMATERIAALIEN OMINAISUUKSIA

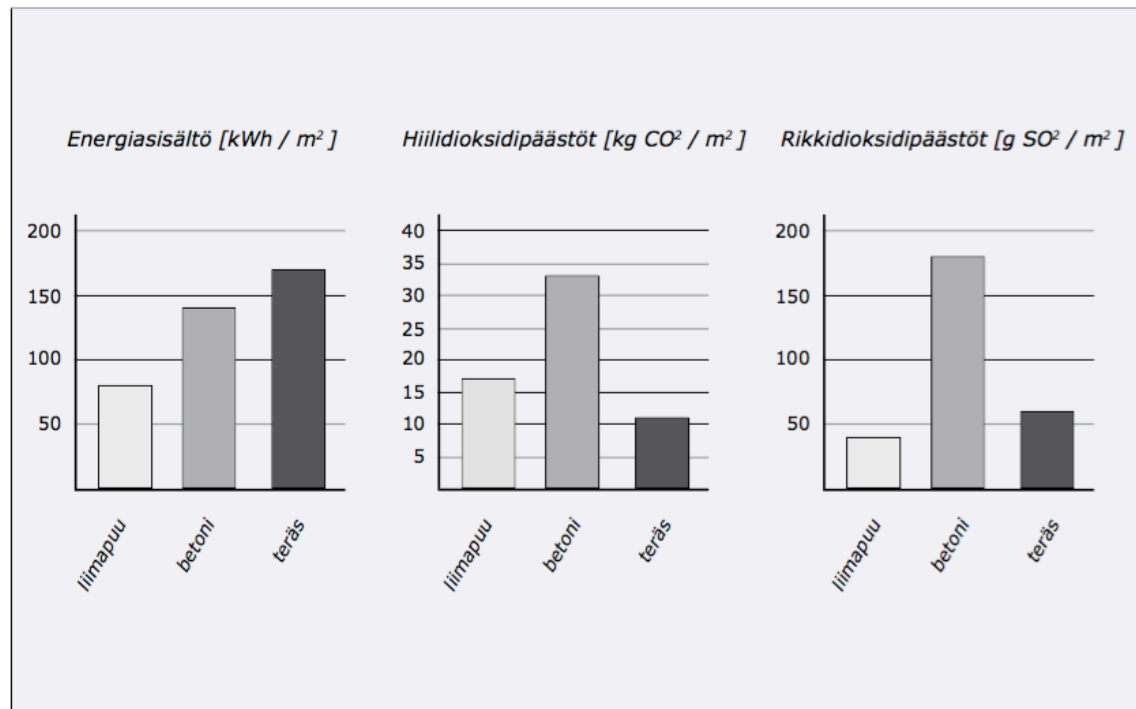
2.1 Puun käyttö rakennusmateriaalina

Puu on monipuolinen luonnon oma, kevyt ja luja rakennusmateriaali. Suurtenkin rakenteiden esivalmistaminen, kuljettaminen ja asentaminen on verrattain helppoa. Puun osalta materiaalituntemus ja rakennetekninen osaaminen on vahvaa. Puusta osataan suunnitella ja toteuttaa kestäviä ja turvallisia rakenteita, jotka ovat myös esteettisesti kauniita. Puun työstöön tarvittavat välineet ovat suhteellisen yksinkertaisia ja edullisia eivätkä ne edellytä valtavia investointeja. (Keronen 2009, 9)

2.1.1 Ympäristövaikutukset

Puu on hyvin ympäristöystävällinen materiaali kuten taulukossa 1 ilmenee. Puu on myös saasteeton ja täysin kierrätettävä materiaali. Suomessa puuvarat ovat suuret ja metsiä hoidetaan kestävän kehityksen mukaisesti. Metsät kasvavatkin nopeammin, kun niitä käytetään hyödyksi. (Keronen 2009, 8)

Puu toimii niin sanottuna hiilinieluna. Puun yhteyttäessä ja kasvaessa se sitoo ilman hiilidioksidista hiilen osaksi puuainetta. Puuaineksesta noin puolet on hiiltä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yksi tonni puuta sitoo kaksi tonnia hiilidioksidia. Tästä syystä puun hyötykäyttöä pitäisi lisätä myös ilmastonlämpenemisen ehkäisemiseksi. (Keronen 2009, 9)



Taulukko 1. Eri rakennusmateriaalien ympäristövertailu (Keronen, 2009)

2.1.2 Paloturvallisuus

Puun lämpötilan noustessa 100 °C:seen siitä alkaa höyrystyä kemiallisesti sitoutumaton vesi. Kuivan puun terminen pehmeneminen alkaa noin 180 °C:n lämpötilassa ja saavuttaa maksiminsa noin 320 – 380 °C:ssa. Tällöin puun ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan sidokset alkavat hajota. Kostean puun pehmeneminen alkaa aikaisemmin, jopa 100 °C:ssa. Puun syttymislämpötilaan vaikuttaa se, kuinka kauan puu on lämmölle alttiina. Yleensä puu syttyy 250 – 320 °C:ssa. Syttymisen jälkeen puu alkaa hiiltä noin 0,8 mm minuutissa. Massiivisessa puutavaraa puuhun syntynyt hiilikerros suojaa puuta palotilanteessa ja hidastaa puun sisempien osien lämpötilan nousua ja siten hidastaa palon etenemistä. Jo 15 mm etäisyydellä hiiltymisrajasta puun lämpötila on jo alle sata celsius astetta. Liimapuu hiiltyy hitaammin kuin normaali puutavara eli 0,7 mm minuutissa. Puun syttymisherkkyys lisääntyy puun tiheyden ja kosteuden vähetessä sekä puukappaleen ulkomittojen pienetessä. Puumateriaalin terävät kulmat, halkeamat, karkea pinta ja säröt lisäävät palon vaikutusta. (Puuinfo 2016.)

Viimevuosina tehdyn kehitystyön seurauksena mm. palomääräyksiä on muutettu siten, että puusta voidaan toteuttaa suuriakin kohteita. Puurakenteilla saavutetaan halleissa helposti 30 minuutin palonkesto ilman lisäkustannuksia ja vahventamalla rakenteita 60 minuutin palonkesto. Tekemällä toiminnallinen palomitoitus voidaan puuta käyttää laajemmin kuin mitä materiaalisidonnaiset ohjeet sallivat. (Keronen 2009, 10)

2.1.3 Elinkaari ja kestävyys

Eri hallityyppien kesken tehdyissä selvityksissä ei ole havaittu merkittäviä eroja ylläpitokustannusten osalta. Suurin yksittäinen tekijä on lämmityskulut, johon vaikutetaan erityisesti vaipan lämmöneristävyydellä ja tiiviydellä. Puu ei muodosta rakenteisiin kylmäsiltoja. (Keronen 2009, 10.)

Puuhalli on osoittautunut tutkimuksissa hyvin kestäväksi vaihtoehdoksi. Esimerkiksi kosteuden aiheuttamia vaurioita on havaittu puuhalleissa huomattavasti vähemmän kuin muissa vastaavissa halleissa. Lahovaurioille alttiit paikat on jo opittu suunnittelemaan ja toteuttamaan siten, että mahdolliset vauriot vältetään jo etukäteen. (Keronen 2009, 10.)

Muiden rakennusten tapaan myös puuhalli tarvitsee huoltoa. Rakenteet tulee tarkistaa ja huoltaa säännöllisesti. Puuhallin huoltoväli on normaali. Asianmukaisesti huolletut rakenteet ovat pitkäikäisiä ja turvallisia. Suurin huoltotarve kohdistuu rakennuksen ulkoverhoukseen sekä vesikattoon. Kyseisten rakenneosien materiaallivalinnat tehdään kuitenkin usein runkovalinnasta riippumatta. Puisten verhoilujen huoltoon voidaan soveltaa samoja periaatteita kuin muissakin rakennuksissa. (Keronen 2009, 11.)

2.2 Teräs rakennusmateriaalina

Teräs on tärkein käyttömetalli. Teräs poikkeaa muista rakennusmateriaaleista kuten tiilestä, betonista ja puusta suuren lujuutensa ansiosta. Valmistusprosessin ja

koostumuksen avulla pystytään säätämään teräksen mekaanisia ominaisuuksia. Teräslajeja on olemassa useita tuhansia, joista suurin osa on kehitetty viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. (Väisänen 2007, 27.)

Teräksiä voidaan luokitella monella tavalla. Yleisimmin teräkset luokitellaan niiden käyttötarkoituksen mukaan joita ovat, rakenteissa käytettävät rakenneteräkset, työteräkset joita käytetään muiden terästen työstämiseen ja erikoisteräkset kuten ruostumattomat ja haponkestävät teräkset. (Väisänen 2007, 27.)

2.2.1 Teräsrakenteen etuja ja haittoja

Teräsrakenteen etuja ovat sen hyvä lujuus-painosuhte joka mahdollistaa pienet rakennemitat ja keveät rakenteet. Liitokset ja kiinnitykset ovat helppoja tehdä hitsaamalla tai ruuviliitoksilla. Teräs on homogeeninen materiaali ja tämän ansiosta verrattain tasalaatuinen. Kosteuden vaihteluilla ei ole vaikutusta teräkseen. (Väisänen 2007, 28.)

Teräsrakenteessa on myös huonoja puolia, kuten kallis hinta. Teräksen korkean lujuuden mahdollistamat hoikat rakenteet saattavat aiheuttaa rakenteissa stabiiliusongelmia. Teräs pehmenee nopeasti lämpötilan noustessa ja haurastuu lämpötilan laskiessa. (Väisänen 2007, 28.)

2.2.2 Korroosio

Korroosio eli metallin syöpymien eli ruostuminen on metallin pinnalta alkavaa tuhoutumista jonka aiheuttaa kemiallinen tai sähkökemiallinen tekijä. Korroosio hävittää metallin, eikä sitä voi enää palauttaa. Kuviossa 1 näkyy korroosion aiheuttama vaurio. (Väisänen 2007, 31.)

Suojaamaton teräs ruostuu ulkona ilmastorasituksesta riippuen puolesta millimetristä kahteen millimetriä vuodessa. Lämpimässä ruostuminen nopeutuu ja kylmässä vastaavasti hidastuu. Joidenkin metallien pinnalle muodostuu korroosiolta suojaava oksidikalvo, kun metalli reagoi hapen kanssa. Tällaisia metalleja ovat esimerkiksi alumiini ja ruostumaton teräs. Metallin syöpmiseen vaikuttaa siis ympä-

ristöolosuhteiden lisäksi metallin omat metallurgiset ja fysikaaliset ominaisuudet. (Väisänen 2007, 31.)



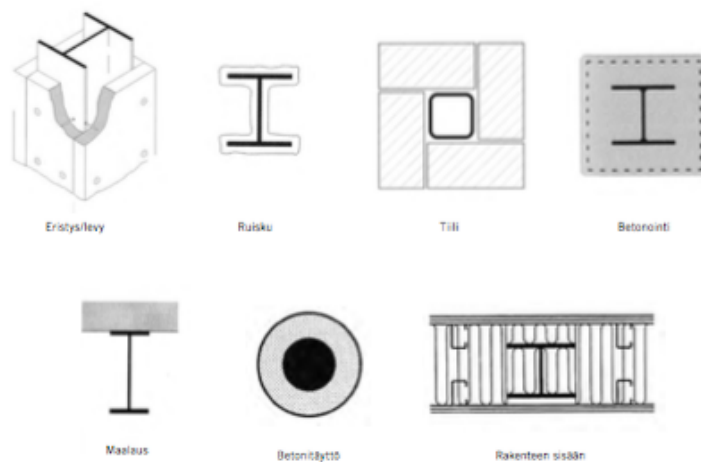
Kuvio 1 Korroosion heikentämä kannatin

2.2.3 Paloturvallisuus

Teräksen lämmönjohtavuus on noin $50 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ eli erittäin suuri. Lämpölaajeneminen aiheuttaa teräksessä nopeasti muodon muutoksia, kuten pituuden muutoksia. Teräsrakenteissa onkin erittäin tärkeää ottaa huomioon lämpötilasta johtuvat pituuden- ja muodonmuutokset ja käyttää rakenteissa riittäviä asennusvaroja. Etenkin paikallinen kuumennus voi aiheuttaa suuriakin jännityksiä ja jopa aiheuttaa halkeamia. Mitä alhaisempi teräksen hiilipitoisuus on, sitä paremmin se kestää nopeaa kuumennusta. (Väisänen 2007, 29.)

Lämpötilan noustessa teräs pehmenee. Järeäkin teräsrakenne voi tulipalotilanteessa menettää kantokykynsä jo alle kahdessakymmenessä minuutissa, jos sitä ei ole palosuojattu. Teräs menettää lujuutensa täysin tuhannen Celsius asteen lämpötilassa. Jos teräs altistuu pitkäaikaisesti yli $400\text{ }^\circ\text{C}$:en lämpötilalle, se alkaa virua. Jäähdyttyään teräs voi olla hauraampi ja alttiimpi korroosiolle kuin aiemmin. Teräksen pinta hapettuu ja hilseilee jos lämpötila nousee yli $500\text{ }^\circ\text{C}$:seen. Rakenteita mitoittaessa $600\text{ }^\circ\text{C}$ on ns. kriittinen lämpötila. (Väisänen 2007, 29.)

Teräsrakenteita voidaan kuitenkin suojata tulipalolta ja kuumuudelta monin eri keinoin, kuten kuviossa 2 on esitetty. Teräsrakenne voidaan verhoilla levyllä, ruiskutettavilla materiaaleilla tai maalata palosuojamaalilla. Eristykseen voidaan käyttää esimerkiksi kipsilevyjä, betonia, rappausta, mineraalivillaa, tiiltä, vermikuliittia jota on olemassa levyinä ja ruiskutettavana. Normaalitilanteessa tavalliselta maalilta näyttävät palosuojamaalit paisuvat tulipalossa jopa 50- kertaiseksi, eli 1 mm:n maalikerroksesta muodostuu palotilanteessa 50 mm:n suojakerros. (Väisänen 2007, 30.)



Kuvio 2. Erilaisia teräksen palosuojausmenetelmiä (Väisänen 2007)

2.2.4 Teräksen ekologisuus

Teräksen tuotanto

Terästä tuotetaan maailmanlaajuisesti noin 1100 miljoonaa tonnia vuodessa, josta noin 24 tonnia on ruostumatonta terästä. Noin puolet teräksen valmistuksessa käytetystä materiaalista on kierrätysromua. Suomessa käytettävissä oleva teräsromu kattaa noin 40% tämän päivän tuotannosta. Ruostumattoman teräksen valmistuksessa kierrätysromun osuus on maailmanlaajuisestikin noin 60%. (Väisänen 2007, 33.)

Raahan terästehtaalla terästonnin valmistukseen kuluu energiaa noin 5500 kWh . Kierrätysteräksen valmistukseen vaaditaan energiaa vain yksi viidesosa verrattuna malmista tehtävään teräkseen. (Väisänen 2007, 33.)

Teräksen elinkaari

Teräs on kestävä materiaali ja sen ansiosta kauan käytössä. Teräsrakenne ei valmistuttuaan kuormita luontoa, koska se ei ime eikä eritä epäpuhtauksia tai kosteutta. Teräksen suurimmat ympäristövaikutukset ovat tuotannon alkupäässä eli terästehtaassa. (Väisänen 2007, 33.)

Helppojen liitosten ansiosta teräsosia voidaan kierrättää sellaisenaan. Suomessa lähes kaikki käytöstä poistettu teräs saadaan kiertoon toimivan kierrätysjärjestelmän ansiosta. Teräs voidaan erotella esimerkiksi magneettisesti ja se voidaan kierrättää uudelleen loputtomasti. Vaikka teräs jäisi luontoon, se palautuu ajan kuluessa samoiksi mineraaleiksi, joista se on aikanaan valmistettu. (Väisänen 2007, 33.)

Tiedossa olevat malmivarat riittävät sadoiksi vuosiksi eteenpäin. Kierrätys pidentää vielä tätä aikaa. Haasteena tulevaisuudessa tulee olemaan enemmänkin energian ja joidenkin seosaineiden saatavuus. (Väisänen 2007, 33.)

2.3 Betoni rakennusmateriaalina

Betoni on kuin keinotekoista kiveä. Betonin pääraaka-aineita ovat: sementti, vesi ja runkoaines joka on luonnonkiveä tai mursketta. Betonin raaka-aineet saadaan maaperästä. Kiviaines voi olla usein paikallista, eikä vaadi pitkiä kuljetusmatkoja. Betoniin tarvittavaa kiviainesta löytyy lähes kaikkialta missä betonia käytetään. Sementin pääraaka-aine eli kalkkikivi on yksi maapallon yleisimmistä kivilajeista. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 20.2.2016].)

Betoni on maailmassa eniten käytetty rakennusmateriaali. Betonin käytön paljous johtuu sen yksinkertaisesta valmistusteknologiasta sekä raaka-aineiden hyvästä saatavuudesta. Betonista tehdään mm. rakennusten perustuksia, runkoja, julkisivuja, siltoja ja patoja. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 20.2.2016].)

Kivipohjaisen materiaalina betoni on kestävä, luja sekä vain vähäistä huoltoa vaativa. Betonin etuja rakentamisessa ovat mm. pitkäikäisyys, lujuus, ääneneristä-

vyys, kierrätettävyys, paloturvallisuus sekä edullinen hinta. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 20.2.2016].)

2.3.1 Betonin lujuusominaisuudet

Tyypillinen puristuslujuus betonille on 30-80 Megapascalia (MPa). Lujuus valitaan kussakin kohteessa käyttötarkoituksen mukaan. Lujuuteen vaikutetaan betonin koostumuksella ja varsinkin betonin vesi-sementti suhteella. Materiaaliteknologian kehittymisen myötä myös betonin puristuslujuutta on onnistuttu kasvattamaan. Betonin vetolujuus sen sijaan on verrattain heikko, vain 6-10 prosenttia puristuslujuudesta. Tästä johtuen betonirakentamisessa käytetään lähes poikkeuksetta raudoitusta eli terästä betonin sisällä. Tätä rakennetta kutsutaan teräsbetoniksi. Teräsbetonissa on sijoitettu terästankoja niille alueille, missä esiintyy vetojännityksiä. Kun betoni ottaa vastaan puristusjännitykset ja raudoitus vetojännitykset, saadaan erittäin luja ja kestävä materiaali. Betoni myös suojaa raudoitusta korroosiolta. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 19.2.2016].)

2.3.2 Betonin paloturvallisuus

Betoni luokitellaan parhaaseen A1- luokkaan. Palokuormat määräytyvät palomitoituksessa käyttötarkoituksen mukaan. Joissain tapauksissa rakennusmateriaalien sisältämää palokuormaa on otettu epäsuorasti huomioon asettamalla puurunkoisille rakennuksille rajoituksia tai lisävaatimuksia. Betonirakennuksen palokuorma voi parhaimmillaan olla alle puolet puurakennuksen palokuormasta. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 20.2.2016].)

Palotilanteessa betonin jännitystaso on korkeintaan 60 prosenttia sen murtolujuudesta, jonka betoni vielä kestää 500 °C: ssa. Myös teräsbetonin terästen kriittinen lämpötila on 500 °C. Lukuun ottamatta joitain hoikkia rakenteita, betoni kestää aina vähintään yhden tunnin mittaisen standardipalon. Kasvattamalla betonipeitettä päästään jopa neljän tunnin luokkaan, jolloin rakenne kestää käytännössä koko tulipalon sortumatta. Tulipaloissa ei ole juurikaan sortunut betonirakennuksia. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 20.2.2016].)

Betonia voidaan käyttää luotettavana materiaalina osastoivissa ja paloa eristävisä rakenteissa. Kerrostaloasunnoissa syttyy vuodessa satoja tulipaloja, mutta yleensä palo rajoittuu siihen asuntoon, jossa se on syttynyt. Yksi paloturvallisuuden oleellisimmista vaatimuksista on estää palon leviäminen ympäristöön. Kanto-kykynsä säilyttävät ja palamattomat rakenteet ovat myös pelastushenkilökunnan kannalta turvallisia. Erityisesti korkeissa asuinrakennuksissa tämä seikka korostuu. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 20.2.2016].)

2.3.3 Betonin ekologisuus

Tarkasteltaessa koko elinkaaren ympäristövaikutuksia, betoni on yksi ekologisimmista rakennusmateriaaleista. Sementti on olennaisin osa tarkasteltaessa betonin ekologisuutta. Sementtitonnin valmistus vaatii energiaa noin 4500-500 Megajoulea (MJ) ja hiilidioksidia aiheutuu 700-800kg/t. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 16.2.2016].)

Kemiallinen hiilidioksidi kompensoituu osittain betonin käytön aikana betonin reagoidessa ilman hiilidioksidin kanssa. Tätä kutsutaan betonin karbonatisoitumiseksi. Sementin valmistuksessa syntyneestä hiilidioksidista noin neljännes saadaan sitoutettua takaisin ilmakehästä. Betonin pitkä käyttöikä parantaa myös osaltaan betonin ekologisuutta. (Betoniteollisuus Ry [Viitattu 16.2.2016].)

3 PUURUNGOT

3.1 Pilarirungot

Pilarirungot ovat tyypillisesti ainakin rungon poikittaissuunnassa mastojäykistettyjä. Rungon päädyissä olevat ns. tuulipilarit ovat joko jäykkä- tai nivelkantaisia. Päätyihin kohdistuva tuulikuorma siirretään joko yläpohjarakenteen tai yläpohjaan rakennettavan erillisen tuuliristikon kautta pääpilareille, jotka jäykistetään esimerkiksi tuuliristikoilla. (Keronen 2009, 18.)

Pilarirungossa käytettävät pilarit ovat yleensä liima- tai kertopuuta. Pilarit liitetään perustuksiin pulteilla tai hitsaamalla jos pilariin on ensin asennettu metallinen kiinnike. Perustusten yläpinta nostetaan vähintään 100 mm valmiin lattiapinnan yläpuolelle. Kertopuusta valmistetut pilarit voivat olla massiivisia liimapuupilareiden tapaan tai kotelo- tai I-pilareita. (Keronen 2009, 18.)

Pääpilareiden varaan asennetaan kattokannattimet, jotka yleensä ovat palkkeja, ristikkoja tai kaaria. Mahdollinen välipohja tuetaan seinillä tai erillisellä pilari-palkkirungolla. (Keronen 2009, 18.)

Pilari liitetään kattokannattajaan pilarin kylkiin kiinnitettävillä hankolaudoilla tai laattateräksillä. Katon kannattajaa kallistamalla hallin vastakkaisille sivuille muodostuu erilainen vapaa korkeus. (Keronen 2009, 18.)

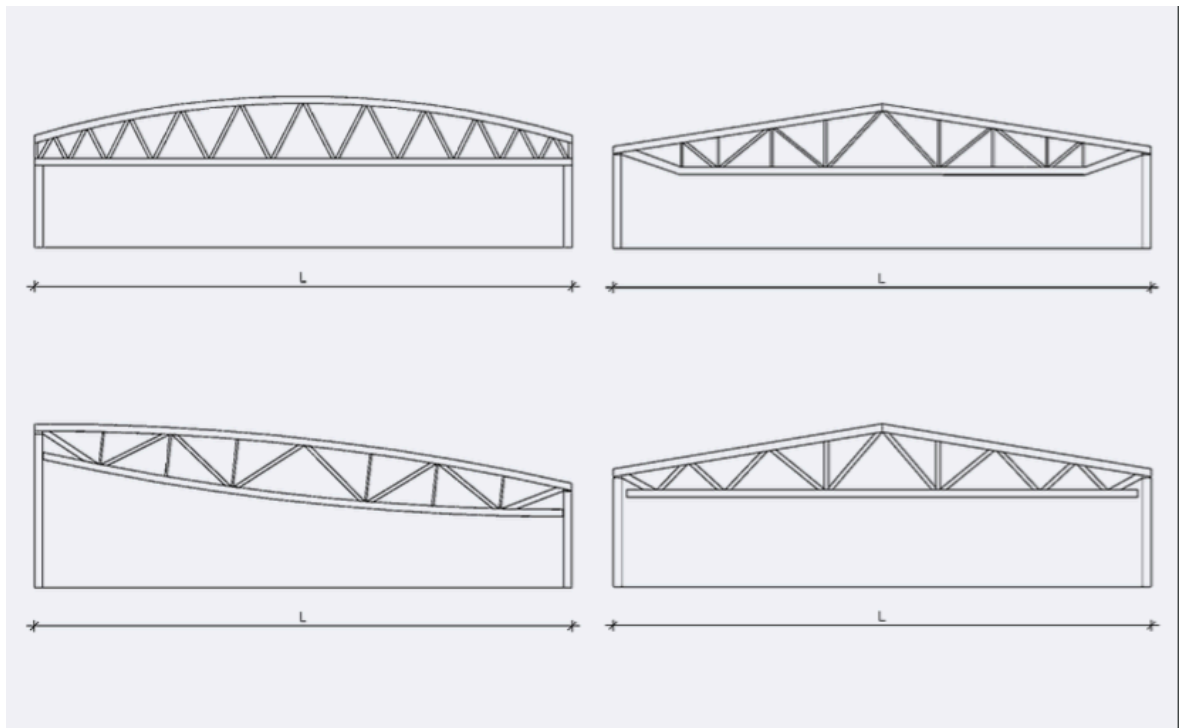
Ulkoseinien ja katon k-jako tulisi olla pääpilareiden osalta 6-8 m ja päätypilareiden k-jako 5-8 m. Tätä jakoa käyttämällä saavutetaan helppo ja tehokas elementointi mahdollisuus ulkoseinien ja katon osalta. Pääpilarivälejä tulisi olla kolmella jaollinen määrä ja päätypilarivälejä kahdella jaollinen määrä. (Keronen 2009, 18.)

3.1.1 Palkkikannattajat

Palkkikannattajia ovat suorapalkki, harjapalkki, käännetty harjapalkki, pulpettipalkki sekä bumerangipalkki. Suoran- ja harjapalkin suurin mahdollinen jänneväli määräytyy tuotannollisista syistä: palkkien suurin mahdollinen korkeus on noin kaksi metriä, jolloin palkin suurin mahdollinen jänneväli on kuormituksesta riippuen noin 26-30 metriä. (Keronen 2009, 20.)

3.1.2 Ristikkokannattajat

Ristikkokannattajia valmistetaan sekä kertopuusta, että liimapuusta. Kuviossa 3 on esitetty muutamia ristikkotyypppejä. Sauvojen liitoksissa käytetään kaksi-, neljä- tai kuusileikkeisiä teräslevyjä sekä terästappivaarvoja. Ristikön tukireaktio välitetään pilareille teräsosien välityksellä. Kun liitososat jäävät puurakenteen sisäpuolelle, saavutetaan R30 paloluokka. Rakenteen sivumittaa kasvattamalla on mahdollista saavuttaa myös R60 paloluokka. (Keronen 2009, 21.)



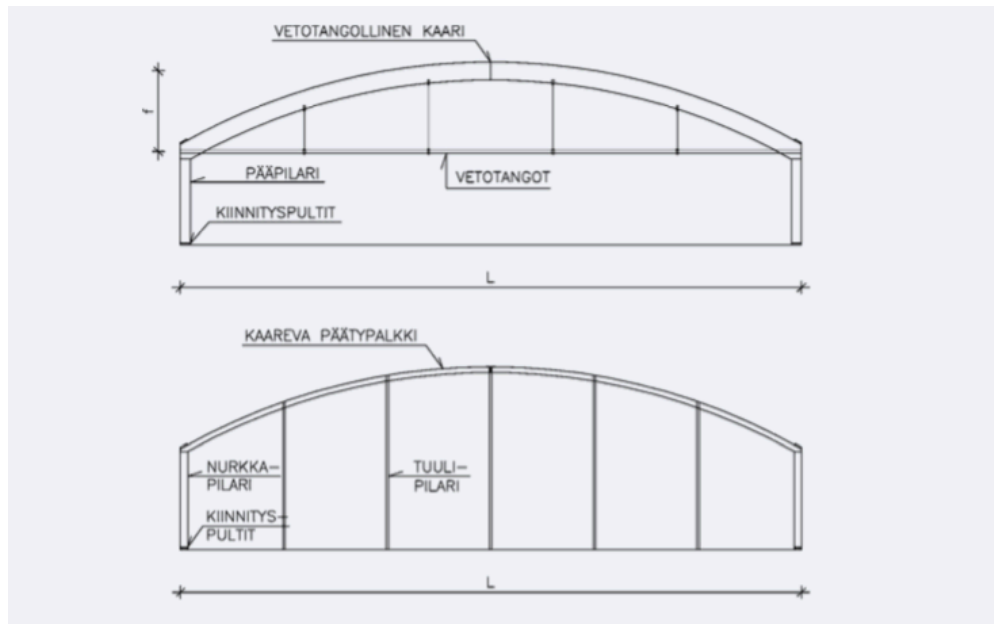
Kuvio 3. Esimerkkejä ristikkokannattajista
(Keronen, 2009)

3.1.3 Vetotankokannattajat

Vetotankokannattaja on kannatintyyppi, jossa on jatkuva yläpaarre ja alapaarteena toimii vetotanko ilman varsinaisia diagonaalisauvoja. Kuvio 4 selventää kannattimen mallia. Vetokannattimen yläpaarre mitoitetaan sekä normaalivoimalle, että taivutusmomentille. Yläpaarre voi olla kaari tai muodostua palkeista. Kaaresta valmistettavat yläpaarteet voivat olla yksi tai kaksiosaisia ja palkista valmistettavat ovat joko vahvistettuja tai vahvistamattomia. Vetotankokannattajat valmistetaan liimapuusta tai kertopuusta. Vetotankokannattajat kootaan yleensä työmaalla suuren kokonsa vuoksi. (Keronen 2009, 22.)

Vetotankokannattaja voi olla puuta tai terästä; puun etuna on hyvä palonkesto ja lisäksi kannattajan käsittely asennusvaiheessa on helpompaa. Puisen vetotangon liitokset ja jatkokset tehdään tappivaarnaliitoksina. Vetotanko ripustetaan yläpaarteeseen puutangoilla tai terästangoilla, jotka välittävät vetotangon oman painon sekä mahdollisista ripustuksista aiheutuvat kuormat edelleen yläpaarteeseen. (Keronen 2009, 23.)

Vetotangon venymä tulee ottaa huomioon rakennetta suunniteltaessa ja mitoitettaessa. Vetotanko esikiristetään yleensä vähintään pysyvästä kuormasta aiheutuvan kuormituksen verran. Puista vetotankoa käytettäessä esikiristys toteutetaan esikorrottamalla kannattajaa. (Keronen 2009, 23.)



Kuvio 4. Pääkannattajana vetotangollinen kaari, poikkileikkaus hallin keskeltä ja päädyistä
(Keronen, 2009)

3.2 Kaarirungot

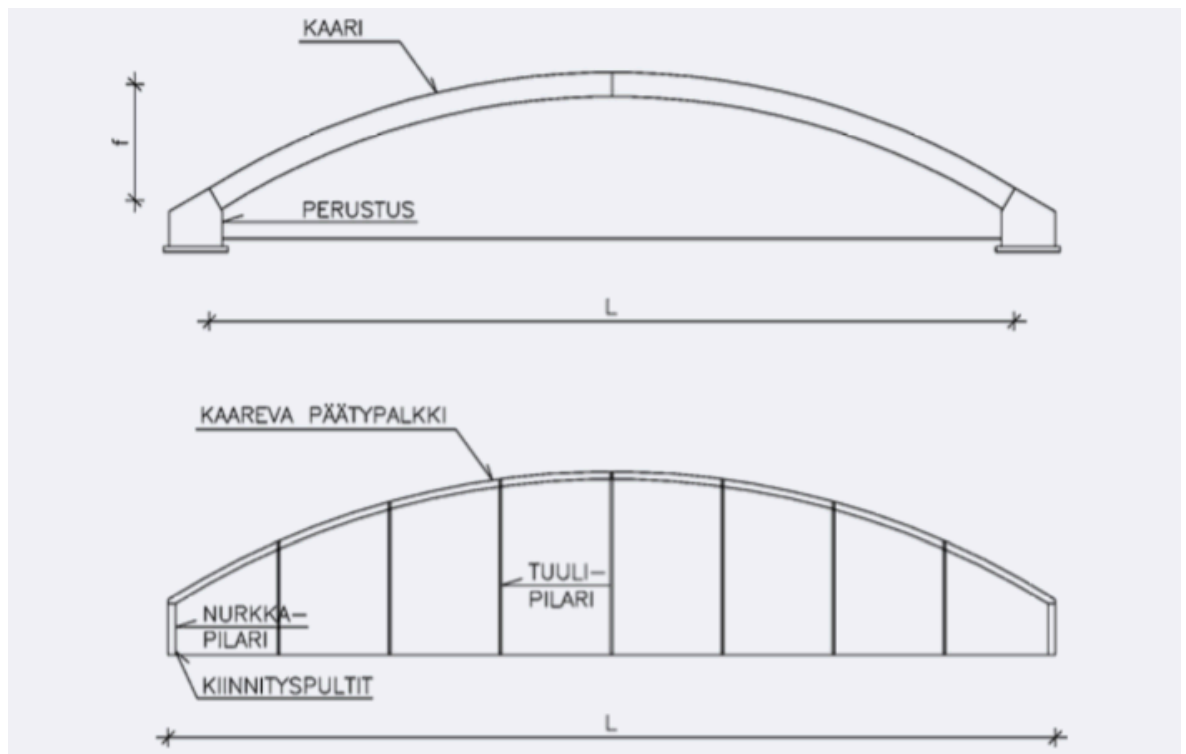
Kaarirunko on rakennetyyppi, joka tukeutuu vaakasuunnassa tuettuihin perustuksiin, kuten kuviossa 5. Perustukset tuetaan joko vinopaaluilla, vetotangoilla toisiinsa tai suoraan peruskallioon. Tuennan jäykkyys vaikuttaa olennaisesti kaaren mitoittamiseen. Vetotangoilla tuettaessa on suositeltavaa käyttää vähintään pysyvän kuorman suuruista esikiristystä. (Keronen 2009, 24.)

Kaarirunko voidaan valmistaa joko massiiviliimapuusta tai ristikkona. Kaareen suunnitellaan yleensä kaksi tai kolme niveltä. Kantanivelet valmistetaan yleensä teräksestä, kun taas lakipisteen nivel voidaan tehdä pienemmän kuormituksen ansiosta myös puusta. (Keronen 2009, 24.)

Kaaret tuetaan suoraan peruspilarin varaan. Kaaren kantanivel suositellaan sijoitettavaksi rakennuksen sisäpuolelle. Peruspilarin suuri koko aiheuttaa sen, että se

usein ulottuu rakennuksen sisäpuolelta sokkelin ulkopuolelle. Tästä johtuen peruspilari joudutaan usein lämpöeristämään ulkopuolelta. (Keronen 2009, 24.)

Kaarirungon päätypalkki tehdään tuulipilareilla tuettuna moniaukkoisena kaarevana palkkina. Kaarirungon jäykistämiseksi rakennetaan yhteen tai kahteen kaariväliin ristikko tai muu jäykkä rakenne. (Keronen 2009, 24.)



Kuvio 5. Kaarirunko, leikkaus hallin keskeltä ja päädyistä (Keronen, 2009)

3.3 Kehärungot

Kehärungossa katon ja seinän runko on yhdistetty toisiinsa jäykkänurkkaisesti siten, että keharunko siirtää osan pystykuormista perustuksiin vaakakuormina. Vaakakuorma otetaan vastaan vetotangoilla, vinopaaluilla tai tukemalla perustus suoraan peruskallioon. Joissain tapauksissa voidaan vaakakuorma ottaa vastaan riit-

tävän massiivisella perustuksella ilman paalutusta tai vetotankoja. (Keronen 2009, 26.)

Kehärunkotyyppejä on erilaisia, kuten käyränurkkainen kolminivelkehä (Kuva 1), terävänurkkainen kolminivelkehä ja ristikkonurkkainen kolminivelkehä. Käyränurkkainen kehä valmistetaan taivutetusta liimapuusta, jonka nurkka voidaan tehdä teräväksi asentamalla siihen liimapuupalkki tai sahatavarapalkki. Terävänurkkaisessa kertopuukehässä palkki on liitetty pilariin tappivaarnaliitoksella. Ristikkonurkkainen kehä koostuu puupalkista, puisesta vinotuesta ja vetotangosta joka voi olla puuta tai terästä. Ristikkokehät kootaan yleensä työmaalla. (Keronen 2009, 26.)



Kuva 1. Käyränurkkainen kolminivelkehä pystytysvaiheessa

3.4 Katto- ja seinärakenteet

Puuhallin seinät ja katot voidaan valmistaa joko elementteinä tai rakentaa paikalla. Paikalla rakentaessa on otettava huomioon, että paikalla rakentaminen on työlästä ja vaativaa. On kiinnitettävä erityistä huomiota työtasojen riittävyteen, toimivuuteen ja turvallisuuteen. Myös sään vaikutus on huomioitava paikalla rakennettaessa paremmin, koska työ kestää huomattavasti kauemmin kuin elementtien asentaminen. Usein paikalla rakentaessa käytetään tiheämpää k-jakoa ja paksumpaa yläpohjarakennetta rakenteiden liittämisen helpottamiseksi. (Keronen 2009, 46.)

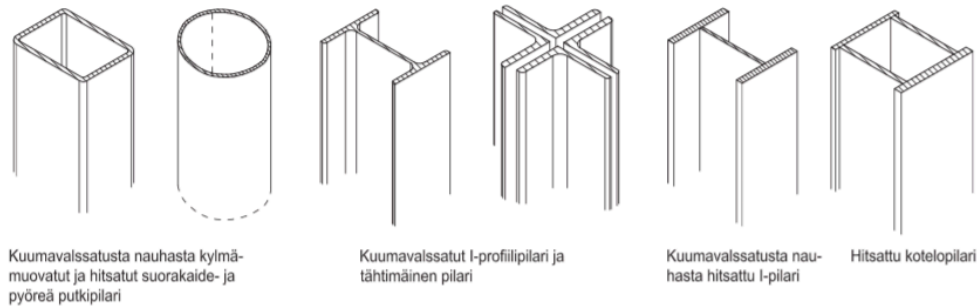
Elementtirakentamisessa on monia etuja. Usein saadaan harvempi k-jako jolloin tarvitaan vähemmän pilareita ja anturoita. Elementtirakentamisessa osa työstä tehdään tehtaalla, tästä johtuen työmaalla tehtävä työ vähenee ja rakennuksen pystyttäminen nopeutuu ja työvoiman tarve työmaalla pienenee. Elementit voidaan mitoittaa runkoa jäykistäväksi rakenteeksi jossa myös palonsuojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi levytyksellä. (Keronen 2009, 46.)

4 TERÄSRUNGOT

Teräsrakentaminen on rakennustapana kuiva ja vähentää rakennusaikaista kosteutta sekä suojaamisen tarvetta. Teräsrakenne on muunneltavissa ja aukotus on helppoa jopa kantavassa julkisivussa. Vuodenaika ei juurikaan rajoita teräsrakentamista. (Väisänen 2007, 66.)

Teräsrunkojärjestelmiä ovat pilari-laatta- runko, pilari-palkki-laatta-runko, sekä kehärakenteet, liittorunko ja teräsrakenteiset kantavat seinät. Teräsrakentaminen on komponenttirakentamista. Työmaalle toimitettavat tuotteet ovat mittatarkkoja ja kevyitä tehtaalla valvotuissa olosuhteissa valmistettuja osia. Työmaalla osat kiinnitetään toisiinsa siihen tarkoitukseen kehitetyillä liitososilla ja –menetelmillä. (Väisänen 2007, 66.)

Kantavat pilarit ja palkit voidaan sijoittaa muiden kantavien rakenteiden sisään, jolloin mitoitukselta tulee pienipiirteistä ja sisätilojen muuntelutarve on vähäinen ja rakennustapana on usein paikalla rakentaminen. Toinen mahdollinen tapa on sijoittaa pilarit ja palkit systemaattisesti samaan jakoon, niin kutsuttuihin moduulimitoihin. Kantavia pilareita on monen mallisia, joka ilmenee kuviossa 6. (Väisänen 2007, 66.)



Kuvio 6 Teräspilarityyppejä (RT 82-10765, 2001)

4.1 Runkojärjestelmät

Pilari-palkki-laatta –järjestelmässä pääosassa ovat teräspilarit ja –palkit sekä palkkien varaan asennettu laatasto. Rungon suunnittelussa voidaan toteuttaa kahta eri periaatetta. Ensimmäisessä pilarit sijoitetaan seinärakenteen- ja palkit välipohjarakenteen sisään. Tällöin mitoitus on pienipiirteistä eli pilarien koot ja pilariruudut ovat pienempiä ja jännevälit lyhyempiä. Toisessa periaatteessa pilarikoot ja jännevälit optimoidaan rakenteellisesti ja jaetaan moduulimittoihin. (RT 82-10765 2001, 5.)

Pilari-laatta –järjestelmä on kehitetty pilari-palkki-laatta –järjestelmästä. Laataston alapinta on tasainen, eikä siinä ole näkyviä palkkeja. Yleensä laatta on teräслиittolevyn ja betonin ohennettu liittorakenne ilman, että laatan rakenteellinen palomitoitus perustuu liittorakenteen ohutlevymuottiin. (RT 82-10765 2001, 5.)

4.2 Teräsrungon jäykistys

Teräsrungossa paras tapa rungon jäykistämiseen on käyttää erilaisia teräksestä valmistettuja jäykisteitä. Teräsosilla saavutetaan rungon asennuksen yhteydessä lopullisen jäykistyksen lisäksi myös rakennusaikainen tuenta. Teräsrakenteet eivät

vaadi kuivumisaikoja ja ne toimivat jäykistävinä rakenteina heti valmistuksen jälkeen. Lisäksi teräsrakenne on ulkomitoiltaan pieni ja näin ollen se säästää tilaa. Esimerkiksi ristikkorakenteet eivät välttämättä juurikaan haittaa esimerkiksi putkien asennusta. (RT 82-10765, 2001, 5.)

5 BETONIRUNGOT

Betonirungot voidaan jakaa kahteen ryhmään, paikallavalurakentamiseen ja elementtirakentamiseen. Paikallavalettaessa työmaalla valetaan rakennuksen anturat, lattiat ja rakennuksen runko. Elementeistä rakennettaessa rakennuksen runko ja julkisivut tulevat työmaalle elementteinä, jotka ovat valmistettu elementtitehtaal- la. Näitä kahta tapaa voidaan myös yhdistellä, ja se onkin melko yleistä. Tällaisessa tapauksessa esimerkiksi rakennuksen anturat, perustukset ja lattiat valetaan työmaalla ja julkisivut ja runko toimitetaan elementteinä. (Suomen Betoniyhdistys Ry 2005, 191.)

Yleisimpiä betonirunkoja ovat pilari-palkki runko, pilari-laatta runko, kantavat seinät sekä kantavat seinät ja täydentävät pilarit. Pilari-laatta-runko on mahdollista tehdä useammalla eri tavalla. Vaihtoehtoja ovat tasavahva pilarilaatta, pilarilaatta sieni- vahvistuksin ja palkkikaistoin vahvistettu pilarilaatta. (Suomen Betoniyhdistys Ry 2005, 193.)

5.1 Runkojärjestelmät

Teollisuus- ja varastorakennuksissa, kuten myös maatilarakennuksissa runko on yleensä pilari-palkki runko. Yleensä rakennukset ovat yksikerroksisia, joihin voi liittyä erilaisia toimisto- sekä aputiloja. Hallin pilarilinjojen lukumäärä riippuu hallin koosta ja tarvittavasta leveydestä. (RT 82-10821 2004, 11.)

Maatilarakennuksissa, kuten muissakin teollisuuden tuotantotiloissa rakennus suunnitellaan yleensä toiminnallisen suunnitelman vaatimusten mukaan. Betonirungolla saavutetaan pitkät jännevälit ja pilarien pienempi lukumäärä. Usein tämän kaltaisissa rakennuksissa vaakarakenteiden korkeudet ovat huomattavasti suuremmat kuin esimerkiksi toimistorakennuksissa. (RT 82-10821 2004, 11.)

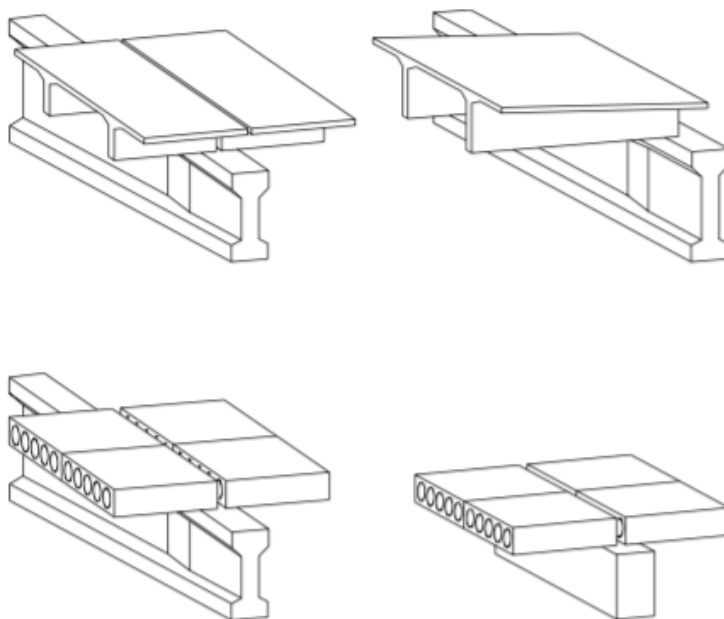
Tuotantorakennuksissa tulee hyvin usein tarvetta laajentamiselle. Betonielementtirakentamisessa on mahdollista varautua tulevaan laajennukseen. Laajennuksen vaakarakenteita voidaan esimerkiksi mitoittaa tuettavaksi vanhan osan runkoon.

Ulkoseinärakenne voidaan suunnitella helposti purettavaksi ja uudelleen käytettäväksi uudessa paikassa. (RT 82-10821 2004, 11.)

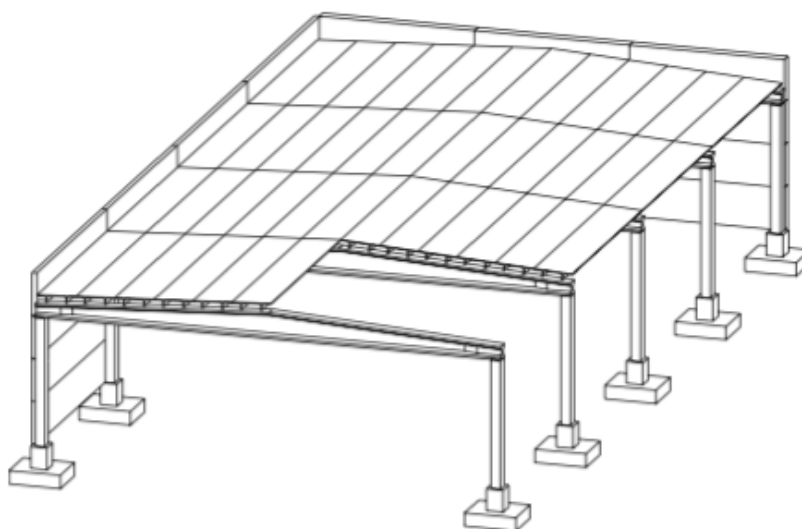
Teollisuusrakennuksen rungon suunnittelu täytyy tehdä tuotantotoiminnan ehdoilla, jolloin rungon jänneväleihin ja rakenteiden sijaintiin ei voida täysin vapaasti vaikuttaa. Muutoksiin varautuminen toteutetaan yleensä rakenteiden riittävällä kantokyvyllä ja pitkillä jänneväleillä. (RT 82-10821 2004, 11.)

Rakennuksen kantavana pystyrakenteena toimii yleensä pilarirunko. Poikkileikkaukseltaan pilarit ovat yleensä suorakaiteen tai neliön muotoisia. Pilarikoko määräytyy eniten kuormitettujen pilarien mukaan. Pilarit ovat usein mastopilareita, eli ne pystyvät ottamaan vastaan myös vaakakuormia ja toimivat täten jäykistävänä rakenteena. Pitkien jännevälien takia pilariverkko on usein harva ja ulkoseinälinjoilla tarvitaan usein lisäpilareita ulkoseinäelementtien tuentaan. Pilarien mittoja valittaessa on otettava huomioon myös tarvittavien tukipintojen riittävyys. (RT 82-10821 2004, 12.)

Rakennuksen yläpohja koostuu palkeista ja palkkeihin tukeutuvista laatoista, kuviossa 7 muutamia esimerkkejä. Palkit ovat joko esijännitettyjä tai tavanomaisia betonipalkkeja. Pitkillä jänneväleillä käytetään jännebetonisia I-palkkeja ja vesikaistoissa HI-palkkeja, kuten kuviossa 8. Palkit mitoitetaan vapaasti tuettuina yksiaukkoisina palkkeina. Palkkien poikkileikkauksen koko valitaan raskaimmin kuormitettujen palkkien mukaan. Palkkien mitoituksessa on tärkeää huomioida raudoituksen ankkuroinnin vaatima tilantarve. Rakennuksen yläpohja tehdään joko ontelolaatoista, kuorilaatoista tai TT-laatoista. Ontelolaatasto voidaan mitoittaa myös toimimaan liittorakenteena yhdessä palkkien kanssa. (RT 82-10821 2004, 12-13.)



Kuvio 7 Yläpohjan eri rakennetyyppejä (RT 82-10821 2004)



Kuvio 8 Yksikerroksinen betonirunkoinen halli, pääkannattajat HI- palkkeja (RT 82-10821 2004)

5.2 Rungon jäykistys

Tuotantorakennusten runko jäykistetään yleensä perustuksiin tukeutuvilla teräsbe-tonipilareilla. Joissain tapauksissa käytetään pilareiden tilalla teräksestä valmistet-tuja tuuliristikoita, jotka liitetään momenttijäykällä liitoksella perustukseen. Raken-nuksissa, joissa on betoniseiniä on mahdollista käyttää myös seinämastojäykistys-tä. (RT 82-10821 2004, 11.)

Julkisivurakenteet siirtävät tuulikuorman aiheuttavat sivuttaiskuormat pilareille, jotka siirtävät ne yläosansa kautta vaakarakenteisiin. Vaakarakenteiden kautta ne siirtyvät edelleen rakennuksen sisällä oleville pilareille. Jos yläpohjalaatta ottaa vastaan tai siirtää kuormia edelleen, on se sidottava yhtenäiseksi levyksi. (RT 82-10821 2004, 11.)

6 KÄYTTÖKOKEMUKSIA

Tuottajien käyttökokemuksia kerättiin avoimen kyselylomakkeen avulla. Suunnittelijalle lähetetyn kyselyn tarkoituksena oli hankkia tietoa suunnittelijan vaikutuksesta runkoratkaisun valintaan. Kysely lähetettiin neljälle tuottajalle joista kaikki vastasivat kyselyyn, sekä yhdelle rakennesuunnittelijalle joka suunnittelee kolmesta viiteen navettaa vuodessa, joista osa on laajennuksia.

6.1 Tuottajien vastauksista

Lypsykarjatilallisille tehdyn kyselyn perusteella toimivan lypsykarjanavetan voi tehdä monella eri tavalla ja monesta eri materiaalista. Kyselyyn vastanneilla tuottajilla on seuraavanlaiset rakenteet: Betonipilarit ja pääkannattajat sekä liimapuusta kattokannattajat, teräspilarit ulkoseinillä sekä rakennuksen keskellä kaksi linjaa ja liimapuusta kattokannattajat, puinen kolminivelkehä ja pitkistä puutavarasta rakennettu navetta.

Vastaajista vain yksi löysi omasta navetastaan negatiivista kerrottavaa. Rakennuksen keskellä olevat teräspilarit vaikeuttavat rakennuksen muutos- ja laajennustöitä sekä hankaloittavat rakennuksen sisällä tehtäviä muutoksia. Jälkikäteen tarkasteltuna tilan omistaja pitäisi puista kolminivelkehää parempana vaihtoehtona.

Rungon valinnan perusteena oli erilaisia seikkoja. Yleensä runkomateriaali ja -ratkaisu määräytyy pitkälti hinnan mukaan, mutta joskus tuottaja haluaa panostaa enemmän sekä eläinten, että ihmisten viihtyvyyteen. Tällöin tuottaja voi valita ratkaisun, joka ei välttämättä ole hinnaltaan edullisin vaan siinä on muita ominaisuuksia jotka parantavat kyseisiä asioita. Esimerkiksi puisen kolminivelkehän ansiosta saadaan avara tila ilman yhtään pilaria.

Yhtä lukuun ottamatta kyselyyn vastanneet olivat sitä mieltä, että ratkaisu on toimiva ja jos he aloittaisivat nyt vastaavanlaista projektia, päätyisivät he samaan ratkaisuun.

6.2 Suunnittelijan vastauksista

Kyseinen suunnittelija suosii itse puista kolminivelkehää, koska siinä pilarit eivät rajoita toiminnallista suunnittelua. Rakennuksen ulkoreunoilla kehäkaari rajoittaa pituussuuntaista eläinliikennettä jonkin verran, mutta ei merkittävästi. Liimapuun mitoitus R30 paloluokkaan ei vaadi yleensä lisätoimenpiteitä. Kehäkaari on kustannustehokas, koska se on muotoiltu tarvittavan momentin mukaan. Asennustoleranssit eivät ole liian tiukkoja, verrattuna esimerkiksi pilari-palkki runkoon. Kehäasennus on yleensä yhden, korkeintaan kahden päivän työvaihe, jonka jälkeen voi aloittaa vesikaton rakentamisen. Perustuksille tulevat kuormat jakautuvat selkeästi pysty- ja vaakakuormiin, jotka ovat lähes samansuuruisia.

Eniten rungon valintaan vaikuttaa rungon leveys ja toiminnallinen suunnittelu sekä hinta. Pitäisi valita aina ensimmäiseksi selkeä ja yksinkertainen rakennejärjestelmä joka on sama läpi navetan ja toiminnallinen suunnittelu tehtäisiin rungon ja jäykistysrakenteiden ehdoilla siten, että näille varattaisiin riittävästi tilaa, myös perustamistasossa. Neljänurkkainen rakennus on edullisin ja nopein rakentaa.

Asiakas tekee itse lopullisen ratkaisun usein jo luonnosvaiheessa pääsuunnittelijan ehdotuksesta, hinnan ollessa merkittävä osa valintaa. Valintaan vaikuttaa suuresti myös muiden tuottajien valinnat. Rakennesuunnittelijan mielipidettä ei kysytä.

7 PÄÄTELMIÄ

Voidaan päätellä, että navettarakentamisessa ei ole yhtä ylivoimaista runkomateriaalia. Yksikään materiaali ei ole myöskään jäänyt pois käytöstä, vaan kaikkia materiaaleja käytetään jatkuvasti. Rungon valintaan vaikuttaa toiminnallisen suunnittelun lisäksi myös maapohjan kantavuus, koska esimerkiksi huonosti kantavalla maaperällä vaakakuormia aiheuttavien rakenteiden käyttöä pyritään välttämään.

Puisen kolminivelkehän etuihin lukeutuu muun muassa vapaa hallitila ilman pilareita sekä materiaali mielletään luonnonmukaiseksi ja on lähes aina kotimaista. Jännevälin ylittäessä 30 metriä on puisen kolminivelkehän rakentaminen haastavaa ja tällöin kannattaa harkita muita vaihtoehtoja, kuten yhdistelmärunkoa, jossa pääkannattimet voivat olla esimerkiksi betonia ja sekundääriskannattimet puuta. Tällaisilla vaihtoehtoisilla ratkaisuilla päästään pidempiin jänneväleihin helpommin. Pilareiden sijoitteluun kannattaa kiinnittää huomiota suunnitteluvaiheessa, jotta niistä aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa rakennuksen varsinaiselle toiminnalle.

Lähes kaikki nykyaikana rakennettavat navetat ovat korkeita tiloja runkomateriaalista riippumatta. Tällä saavutetaan parempi sisäilmanlaatu ja sitä kautta rakennuksessa työskenteleville ihmisille paremmat työskentelyolosuhteet.

LÄHTEET

- Keronen, A. 2009. Puuhallin rakenteet: Esisuunnittelu ja valintaperusteet. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo Oy. [Viitattu 02.02.2016]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puuhallin-rakenteet-esisuunnittelu-ja-valintaperusteet/090202-puuhallin-rakennesuunnittelu.pdf>
- Puuinfo. Paloteknisiä ominaisuuksia. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.2.2016]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisiä-ominaisuuksia>
- Väisänen, P. 2007. Teräs: Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. [Verkkojulkaisu]. Teräsrakenneyhdistys. [Viitattu 17.2.2016]. Saatavana: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf
- Betoniteollisuus Ry. Betoni ja kestävä kehitys: Betoni rakennusmateriaalina. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.2.2016]. Saatavana: <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betoni-rakennusmateriaalina>
- Betoniteollisuus Ry. Betoni ja kestävä kehitys: Betonin lujuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.2.2016]. Saatavana: <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betonin-lujuus>
- Betoniteollisuus Ry. Betoni ja kestävä kehitys: Paloturvallisuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.2.2016]. Saatavana: <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/paloturvallisuus>
- Betoniteollisuus Ry. Betoni ja kestävä kehitys: Betonirakenteen ekotehokkuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.2.2016]. Saatavana: <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betonirakenteen-ekotehokkuus>
- RT 82-10765, 2001. Asuin- ja toimistorakennusten teräsrakenteet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.2.2016] Helsinki: Rakennustieto.
- Suomen Betoniyhdistys Ry, 2005. Betonitekniikan oppikirja 2004, by201. Lahti: ESA Print Oy
- RT 82-10821, 2004. Betonielementtirunkorakenteet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.2.2016] Helsinki: Rakennustieto.

LIITTEET

Liite 1. Kyselylomake

LIITE 1 Kyselylomake

1. Mikä runko teidän navetassanne on ja minä vuonna se on rakennettu?
2. Miksi valitsitte juuri tämän vaihtoehdon?
3. Onko rakennus vastannut odotuksianne/oletteko olleet tyytyväisiä ratkaisuun?
4. Jos aloittaisitte nyt vastaavaa projektia päätyisittekö samaan ratkaisuun? Miksi?
5. Teidän navettanne hyvät ja huonot puolet?

